

А. К. Бектабегов
В. В. Усачев

СТЕРЕОФОНИЧЕСКИЕ ЗВУКОСНИМАТЕЛИ

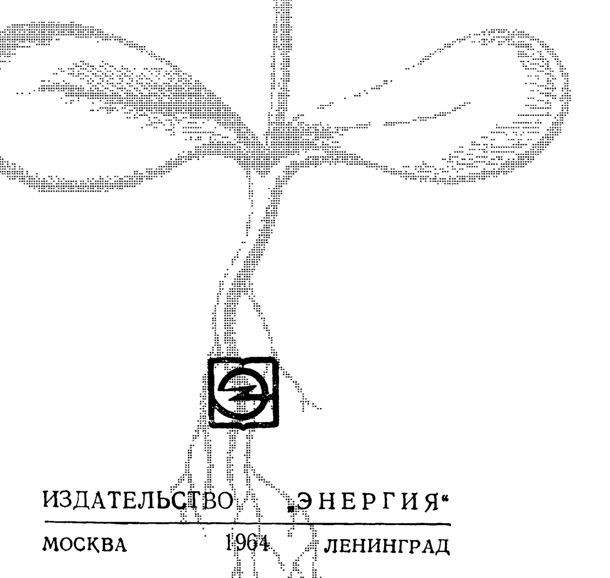


МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 552

А. К. БЕКТАБЕГОВ и В. В. УСАЧЕВ

СТЕРЕОФОНИЧЕСКИЕ ЗВУКОСНИМАТЕЛИ



ИЗДАТЕЛЬСТВО „ЭНЕРГИЯ"

МОСКВА 1964 ЛЕНИНГРАД

УДК 681.84.081.48

Б 42

Дается краткий обзор современной механической звукозаписи на диск. Излагаются требования к стереофоническим звукоснимателям, рассматриваются их параметры и конструктивные особенности.

Брошюра рассчитана на подготовленного читателя.

Бектабегов Алексей Константинович, Усачев Вадим Васильевич
Стереофонические звукосниматели. М.—Л., издательство „Энергия", 1964
40 стр. с илл. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 552).
Тематический план 1964 г. № 371.

Редактор *В. Г. Корольков* Техн. редактор *В. Н. Сологубов*

Обложка художника *Н. Т. Ярешко*

Сдано в производство 25/VI 1964 г. Подписано к печати 19/IX 1964 г.
Т-13329 Бумага 84×108$^{1}/_{32}$ 2,05 печ. л., 2,52 уч.-изд. л.
Тираж 40 000 экз. Цена 10 коп. Заказ 1386

Московская типография № 10 Главполиграфпрома Государственного комитета Совета Министров СССР по печати. Шлюзовая наб., 10.
Отпечатано в Московской типографии № 33 Главполиграфпрома Кожевническая ул., д. 1-б. Заказ 1143

ГРАМПЛАСТИНКИ

МЕХАНИЧЕСКАЯ ЗВУКОЗАПИСЬ НА ДИСК

Хорошо всем известная граммофонная пластинка содержит так называемую механическую запись звука. Первичная механическая запись осуществляется в виде непрерывной канавки, вырезаемой резцом рекордера на диске, покрытом слоем особого лака. Рекордер во время записи перемещается по радиусу от края к центру диска при вращении последнего по часовой стрелке. После записи с диска снимается гальваническим способом металлическая негативная копия, с которой тем же способом получают металлические позитивные копии, и с последних — снова негативные копии, используемые как матрицы для прессования пластинок.

Механическая звукозапись прошла за последний период времени два этапа развития, каждый из которых был своего рода переворотом в этой области.

В 1949 г была разработана так называемая долгоиграющая пластинка, сначала для скорости вращения $33^1/_3$, а затем для 45 *об/мин*, позволившая резко увеличить время звучания, воспроизводить весь практически слышимый диапазон частот (от 30 до 15 000 *гц*) и благодаря снижению уровня поверхностного шума пластинки значительно расширить динамический диапазон записи.

В 1958 г. появилась стереофоническая долгоиграющая пластинка, добавившая при звуковоспроизведении новое и весьма существенное качество — возможность различать положение источника звука в пространстве, а также объемность и прозрачность звучания.

В результате качество воспроизведения грамзаписи настолько возросло, что стало возможным ее сопоставление с натуральным звучанием.

Долгоиграющая и стереофоническая пластинки потребовали коренной переработки воспроизводящей аппаратуры, прежде всего звукоснимателей и приводных механизмов.

В настоящее время применяются следующие способы записи граммофонных пластинок.

1. Стереофоническая запись (условное обозначение С) — для стереофонических грампластинок при скоростях $33^1/_3$ и 45 *об/мин*. Эта запись, рассчитанная на электрическое воспроизведение, получила быстрое развитие в течение последних лет и, как уже указывалось, является наиболее совершенной.

2. Монофоническая запись с узкой канавкой (условное обозначение МУ) — для долгоиграющих пластинок, также рассчитанных только на электрическое воспроизведение при тех же скоростях вращения.

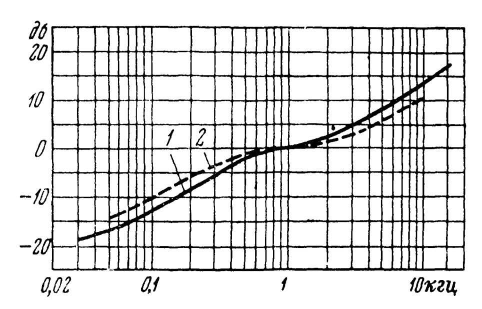


Рис. 1. Номинальная частотная характеристика механической звукозаписи на диск.

1 — запись С и МУ; *2* — запись МШ.

3. Монофоническая запись с широкой канавкой (условное обозначение МШ) — для пластинок на 78 *об/мин*, предназначенных главным образом для акустического воспроизведения на портативных граммофонах (получивших название «патефонов»). Этот способ записи устаревший.

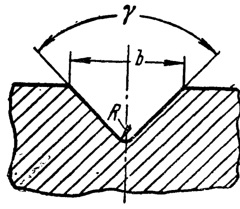


Рис. 2. Форма и размеры канавки записи. Запись С, $b \leq 45$ *мк*, $R \leq 5$ *мк*, $\gamma = 90^{+1}$ *град*; запись МУ, $b \leq 45$ *мк*, $R \leq 7,5$ *мк*, $\gamma = 90_{-5}$ *град*; запись МШ, $b \leq 140$ *мк*, $R \leq 25$ *мк*, $\gamma = 90_{-5}$ *град*.

Основные параметры всех перечисленных способов механической записи звука на диск стандартизованы в ГОСТ 7893-61.

Номинальная частотная характеристика канала записи стереофонических и долгоиграющих пластинок (С и МУ), представленная как зависимость амплитуды колебательной скорости записи от частоты при постоянной э. д. с. на входе канала записи, показана на рис. 1. Там же приведена характеристика для 78 *об/мин* (МШ), которая мало отличается от предыдущей.

Выбор номинальной частотной характеристики канала записи связан, с одной стороны, с реальными уровнями звуковой энергии на различных частотах, а с другой — с наилучшим соотношением уровней записи во всем рабочем диапазоне частот.

Зависимость между амплитудой смещения канавки и амплитудой колебательной скорости записи выражается соотношением

$$A = 10^4 \frac{x'}{\omega} = 1,59 \cdot 10^3 \frac{x'}{f},$$

где A — амплитуда смещения канавки, *мк*;

x' — амплитуда колебательной скорости, *см/сек*;

f — частота, *гц*.

Амплитуда колебательной скорости записи не должна превышать 7 и 8,5 *см/сек* для записи С, 10 и 12 *см/сек* для записи МУ (при скоростях $33^1/_3$ и 45 *об/мин* соответственно) и 16 *см/сек* для записи МШ (при скорости 78 *об/мин*). Допустимая максимальная амплитуда смещения канавки на низких частотах для записи С и МУ составляет 30, а для записи МШ 40 *мк*.

Форма и размеры канавки записи показаны на рис. 2.

СТЕРЕОЗАПИСЬ

В естественных условиях обычно слышны не один, а многие источники звуков, расположенные в пространстве. Человек с нормальным слухом легко определяет расположение источников звука, и у него создается впечатление пространственного звукового поля. Происходит это из-за так называемого бинаурального эффекта или, иначе говоря, благодаря слушанию двумя ушами. Звуки от одного источника приходят обычно неодинаковым путем к правому и левому ушам, так как одно ухо оказывается ближе к источнику, чем другое.

При обычной, монофонической системе звукопередачи звуковая информация передается по одному каналу, и, таким образом, звук от всех источников независимо от их расположения в пространстве приходит к слушателю из одной точки, где находится громкоговоритель. Звук теряет при этом пространственную перспективу. Увеличение числа громкоговорителей расширяет только фронт излучения звука, но не меняет дела, так как по-прежнему отсутствует возможность определения местоположения отдельных источников звука.

Сохранить пространственную перспективу при передаче звука позволяет стереофоническая система, при которой применяют по меньшей мере два микрофона (правый и левый), включенные каждый в свой усилительный тракт, работающий на отдельный громкоговоритель.

Таким образом, для получения стереофонического эффекта необходимы по крайней мере два раздельных канала передачи звука.

Звуковая информация, поступающая, например, в левый канал, воспроизводится в основном левым громкоговорителем и лишь в незначительной степени правым, так что слушатель воспринимает звук приходящим слева. При передвижении исполнителя вправо будет происходить уменьшение уровня сигнала левого громкоговорителя и увеличение уровня сигнала правого громкоговорителя. В результате у слушателя возникает ощущение перемещения источника звука. При передаче оркестровой музыки локализуются отдельные группы инструментов, сохраняется их пространственная перспектива, звучание приближается к натуральному — создается «эффект присутствия». Именно это качество отличается специалистами как наиболее важное достоинство стереофонической звукопередачи [1].

[1] Подробнее о принципах стереофонической звукопередачи можно прочесть в книге Д. И. Гаклина, Л. М. Кононовича и В. Г. Королькова «Стереофоническое радиовещание и звукозапись», Госэнергоиздат, 1962 г.

Одним из промежуточных звеньев стереофонической звукопередачи может являться стереофоническая граммофонная пластинка.

Был разработан ряд способов двухканальной стереофонической записи граммофонных пластинок, однако международное признание получил способ, условно обозначаемый 45/45.

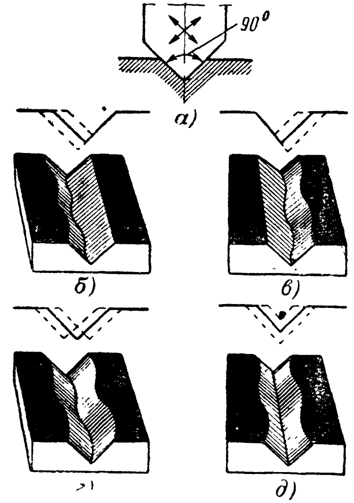


Рис. 3. Канавки в стереозаписи.

а — положение резца в канавке (стрелками указаны оси модуляции); *б* — сигнал в левом канале; *в* — сигнал в правом канале; *г* — сигналы в фазе (поперечная запись); *д* — сигналы в противофазе (глубинная запись).

При этом способе рекордер имеет две колебательные системы, расположенные под углом 90° друг к другу и передвигающие резец в двух взаимно перпендикулярных направлениях под углом 45° к поверхности диска. Поскольку угол раскрытия канавки равен 90°, сигнал каждого канала записи модулирует одну стенку канавки перпендикулярно к ее поверхности.

На рис. 3,*а* показано положение резца в немодулированной (немой) канавке. На рис. 3,*б* изображена канавка, модулированная только сигналом левого канала записи (ось вращения пластинки расположена слева) [1].

На рис. 3,*в* показана канавка, модулированная только сигналом правого канала записи.

В общем случае (при записи сигналов обоих каналов одновременно) колебания резца представляют собой результат векторного сложения двух взаимно перпендикулярных колебаний, а модуляция канавки является сочетанием двух модуляций. При этом если сигналы в обоих каналах одинаковы по уровню и находятся в фазе, то резец рекордера колеблется в плоскости пластинки, глубина канавки не меняется и получается обычная монофоническая поперечная запись (рис. 3,*г*). На рис 3,*д* изображена запись при одинаковых сигналах, поданных в противофазе; при этом резец колеблется в плоскости, перпендикулярной к поверхности пластинки (глубинная запись).

СОВРЕМЕННЫЕ ГРАММОФОННЫЕ ПЛАСТИНКИ

В настоящее время отечественной промышленностью выпускаются граммофонные пластинки трех типов: стереофонические, долгоиграющие и так называемые обычные, на 78 *об/мин.* По ГОСТ 5289-61

---

[1] В соответствии с ГОСТ 7893-61 информация левого канала записи должна обусловливать модуляцию внутренней (ближней к центру пластинки) стенки канавки, а информация правого канала — модуляцию внешней стенки канавки.

обозначение типов пластинок соответствует обозначению способов записи: С, МУ и МШ.

Основные данные пластинок сведены в табл. 1, а форма и размеры их приведены на рис. 4, 5 и 6.

Таблица 1

Основные данные грампластинок

Типы пластинок	Скорость вращения, *об/мин*	Форматы		Диаметр начальной канавки зоны записи, не более, *мм*	Диаметр конечной канавки зоны записи, не менее, *мм*
		Обозначения	Диаметры, *мм*		
С и МУ	$33^1/_3$	$Ф_{17}$	174	168	120
		$Ф_{25}$	250	242	
		$Ф_{30}$	301	292	
	45	$Ф_{17}$	174	168	106
МШ	78	$Ф_{20}$ $Ф_{25}$	200 250	192 242	87

Как видно, форма современных пластинок С и МУ несколько необычна. В пластинках форматов $Ф_{25}$ и $Ф_{30}$ поле этикетки и борт подняты, что защищает поле записи от царапания при хранении и

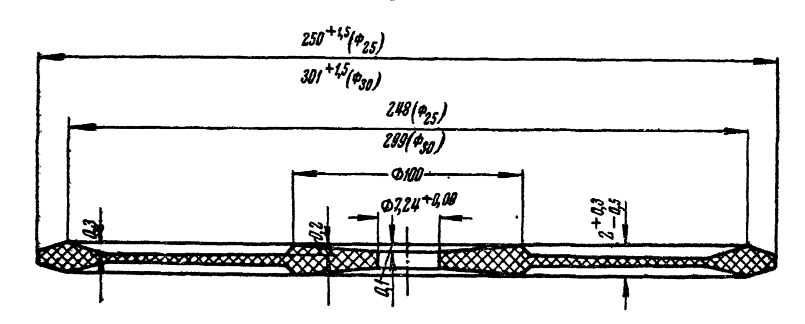


Рис. 4. Пластинки С и МУ форматов $Ф_{25}$ и $Ф_{30}$.

при наложении пластинок друг на друга в автоматических проигрывателях. Малый диаметр пластинок формата $Ф_{17}$ позволяет ограничиться только поднятым полем этикетки. Пластинки этого же формата на скорость вращения 45 *об/мин* имеют вырубки под центровое отверстие 38,15 *мм*, позволяющее проигрывать их в автоматиче-

ских устройствах со шпинделем такого же диаметра. В этом случае центральная часть пластинки нажатием руки выдавливается.

Пластинки С и МУ, изготовляющиеся из специальной массы,

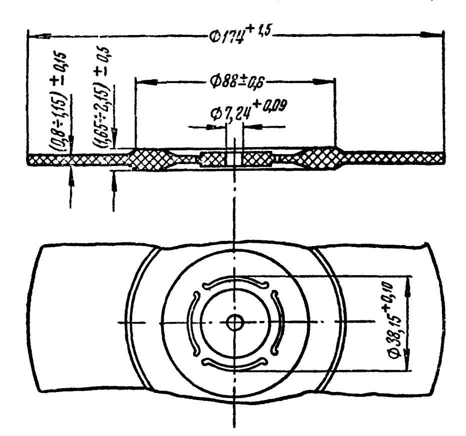


Рис. 5. Пластинки С и МУ формата $Ф_{17}$.

отличаются малым уровнем поверхностного шума, легки и не бьются.

Пластинки МШ имеют низкое качество звучания и малую длительность записи, но выдерживают значительную механическую на-

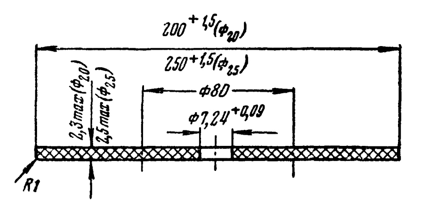


Рис. 6. Пластинки МШ.

грузку, что позволяет проигрывать их на акустическом граммофоне Несмотря на то, что эти пластинки устаревшие, они еще выпускаются из-за наличия большого количества акустических граммофонов выпуска прошлых лет.

СТЕРЕОФОНИЧЕСКИЕ ЗВУКОСНИМАТЕЛИ

Одним из основных узлов любой установки для электрического воспроизведения граммофонной записи является звукосниматель, представляющий собой электромеханический преобразователь звуковой информации, содержащейся на грампластинке, в соответствующие электрические колебания.

ТРЕБОВАНИЯ К ЗВУКОСНИМАТЕЛЯМ

Стереофоническая граммофонная запись представляет собой наиболее сложный вид механической звукозаписи, поэтому к стереофоническим звукоснимателям предъявляют специфические требования, главные из которых заключаются в следующем. Звукосниматель должен раздельно воспроизводить сигналы правого и левого каналов записи при минимальном проникании их из одного канала в другой. Так как запись стереофонической пластинки производится одним резцом, воспроизведение ее должно осуществляться одной иглой, воздействующей на две автономные преобразующие системы.

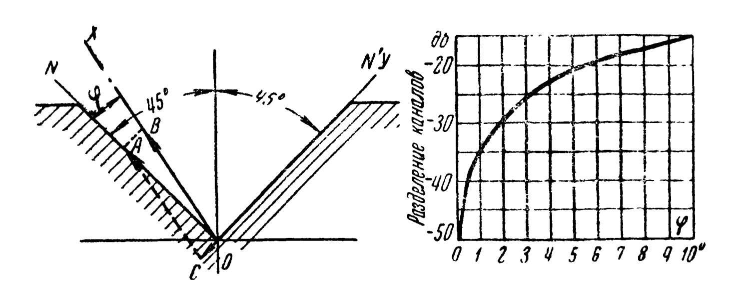


Рис. 7. Зависимость разделения каналов от симметрии осей чувствительности звукоснимателя.

ON и ON' — нормали к правой и левой стенкам канавки; OX и OY — оси чувствительности правого и левого каналов звукоснимателя; φ — угол отклонения оси чувствительности правого канала; OA, OB и OC — вектор модуляции правого канала и его составляющие.

Из-за необходимости уменьшить приведенный к игле вес стереофонического звукоснимателя, в связи с меньшим радиусом закругления конца его иглы, податливость (гибкость) подвижной системы стереофонического звукоснимателя должна быть выше, чем у монофонического, причем не только в горизонтальной плоскости, но и в вертикальной, чтобы нормально воспроизводилась вертикальная составляющая стереофонической записи.

Следующее требование — правильная ориентация осей чувствительности звукоснимателя.

Оси чувствительности стереофонического звукоснимателя должны быть расположены перпендикулярно к стенкам канавки[1]. Это требование относится и к точности изготовления звукоснимателя, и к его расположению относительно пластинки. Неправильная ориентация осей чувствительности ухудшает разделение каналов, что показано на рис. 7, где угол φ выражает отклонение оси чувствительности правого канала от нормали к плоскости правой стенки канавки. Вектор OA модуляции правого канала записи, всегда направленный по этой нормали, будет в этом случае иметь две со-

[1] В большинстве случаев ось чувствительности канала звукоснимателя проходит через преобразующий элемент данного канала перпендикулярно к плоскости этого элемента.

ставляющие OB и $O\acute{C}$ вдоль осей чувствительности OX и OY правого и левого каналов звукоснимателя. Составляющая OC вызывает проникание сигнала правого канала в левый, что приводит к ухудшению их разделения. Из рисунка видно, что $\frac{OC}{OB}=\frac{OC}{CA}=$ $=\sin\varphi$. Отсюда разделение каналов[1], определяемое отношением составляющих OC и OB вектора модуляции OA, выраженное в *дб*, находится по формуле

$$N=20\lg\sin\varphi.$$

График данного выражения приведен на том же рисунке.

Для стереофонических звукоснимателей по ГОСТ 8383-63 разделение каналов должно быть не менее (по абсолютной величине) 20,15 и 12 *дб* для первого, второго и третьего классов соответственно. Таким образом, согласно графику на рис. 7, для первого класса допустимый угол φ может составлять 5,5°, а для второго класса даже 10°. Однако, если учесть, что проникание сигналов из одного канала в другой определяется еще и рядом других причин, станет очевидным, что требования к уменьшению угла φ должны быть более жесткими. Представляется поэтому целесообразным принять для всех классов звукоснимателей φ=5°.

Таблица 2

Обозначения звукоснимателей

Типы проигрываемых пластинок	Обозначения рабочих положений звукоснимателя		Цвет обозначения
	Основные	Дополнительные	
Стереофонические	С	○○	Белый
Стереофонические и монофонические с узкой канавкой (воспроизведение одной иглой)	МС	△ ○○	Красный с белым
Монофонические с узкой канавкой	М	△	Красный
Монофонические с широкой канавкой	78	□	Зеленый

[1] Разделение каналов называют также переходным затуханием.

Одно из основных требований, предъявляемых к современному звукоснимателю, заключается в его универсальности, т. е. в возможности проигрывать им как стереофонические, так и монофонические грампластинки. Это объясняется тем, что производство монофонических пластинок продолжается, не говоря уже об имеющемся большом фонде пластинок у любителей музыки. Кроме того, качество звучания монофонических записей при воспроизведении их посредством стереофонического оборудования повышается.

Универсальность звукоснимателя достигается комплектацией его несколькими головками или одной универсальной.

В первом случае комплект может состоять из двух головок, одна из которых предназначена для стереофонических и монофонических долгоиграющих пластинок, а другая — для пластинок на 78 *об/мин*. Следует заметить, что для звукоснимателей особенно высокого класса выпускаются головки, рассчитанные только на стереофонические пластинки.

Универсальная головка, имеющая две иглы, снабжена устройством для их переключения, что усложняет сборку, затрудняет достижение необходимой точности фиксации иглы относительно канавки, увеличивает вес и снижает надежность головки. Поэтому вариант со сменными головками следует считать лучшим, особенно для звукоснимателей высокого класса. Хотя при хорошо налаженном технологическом процессе производства универсальная головка может обладать достаточно высокими параметрами, однако она всегда уступает по качеству воспроизведения сменной головке аналогичной конструкции. Преимущества же универсальной головки с экономической стороны и по удобству эксплуатации очевидны.

Сменные головки или переключатель игл универсальной головки должны иметь цветные обозначения, установленные ГОСТ 8383-63. Эти обозначения приведены в табл. 2. Стереофонический звукосниматель должен иметь 3 или 4 вывода. Нумерация выводных контактов головки и цветная маркировка проводов в тонарме должны соответствовать указанным в табл. 3.

Таблица 3

Выводы стереофонического звукоснимателя

Количество выводов	Назначение выводов	Номера выводных контактов головки	Цвет провода или его маркировка
3	Левый канал	1	Белый
	Общий („земля“)	2	Черный
	Правый канал	3	Красный
4	Левый канал	1	Белый
	Левый канал („земля“)	2	Синий
	Правый канал	3	Красный
	Правый канал („земля“)	4	Зеленый

Внутренняя коммутация стереофонической головки должна осуществляться так, чтобы сигналы левого и правого каналов при стереофоническом воспроизведении соответствовали сигналам в каналах записи, а при проигрывании монофонической пластинки были синфазны

ПАРАМЕТРЫ ЗВУКОСНИМАТЕЛЯ

Стереофонический звукосниматель оценивается следующими параметрами: чувствительностью, рассогласованием каналов по чувствительности, частотной характеристикой воспроизведения, рассогласованием каналов по частотным характеристикам воспроизведения, рабочим диапазоном частот, разделением каналов, нагрузкой на иглу [1], нелинейными искажениями.

Чувствительность. Чувствительностью называют величину напряжения на номинальной нагрузке звукоснимателя при воспроизведении тона частотой 1 000 *гц*, записанного с амплитудой колебательной скорости 1 *см/сек*. Чувствительность измеряется в *мв/см/сек*. Норма чувствительности по ГОСТ 8383-63 составляет для пьезоэлектрических звукоснимателей 100 *мв/см/сек* в стереорежиме и 70 *мв/см/сек* в монорежиме, а для магнитных звукоснимателей 1,4 и 1 *мв/см/сек* соответственно. Различие чувствительности звукоснимателей в стерео- и монорежимах связано с тем, что уровень стереозаписи в $\sqrt{2}$ раз меньше, чем уровень монозаписи. Номинальная нагрузка, установленная стандартом, равна 1 *Мом* для пьезоэлектрических и 47 *ком* для магнитных звукоснимателей.

Современные зарубежные пьезокерамические стереозвукосниматели обладают чувствительностью 50—100 *мв/см/сек*. Чувствительность звукоснимателей магнитного типа составляет обычно 0,5—2 *мв/см/сек*.

Рассогласование каналов по чувствительности. Для неискаженного стереофонического звуковоспроизведения необходимо одинаковое усиление в обоих каналах. Поэтому каналы звукоснимателя не должны различаться по чувствительности более чем на 2 *дб* для электропроигрывающих устройств первого класса и на 3 *дб* — для второго и третьего классов.

Частотная характеристика воспроизведения представляет собой зависимость относительной чувствительности звукоснимателя D от частоты.

Под относительной чувствительностью понимают отношение выходного напряжения звукоснимателя на данной частоте к напряжению на 1 000 *гц* при постоянстве амплитуды колебательной скорости. Значение D в *дб* определяется по формуле

$$D = 20 \lg \frac{U}{U_{1000}}.$$

Для правильного воспроизведения граммофонной записи частотная характеристика воспроизведения должна быть обратна частотной характеристике канала записи. Эта характеристика, представляющая собой характеристику канала воспроизведения, стандартизо-

[1] Нагрузку на иглу называют также приведенным весом.

вана ГОСТ 8383-63 и приведена на рис. 8. Она принята единой, так как частотные характеристики каналов записи С и МУ, как указывалось, совпадают, а разница с частотной характеристикой канала записи МШ может быть легко скомпенсирована регулятором тембра в усилителе. Таким образом, результирующая номинальная частотная характеристика канала запись — воспроизведение будет иметь вид горизонтальной прямой.

Очевидно, частотные характеристики воспроизведения звукоснимателей могут отличаться от приведенной номинальной характеристики канала воспроизведения, однако эти отклонения не должны превышать установленных допусков.

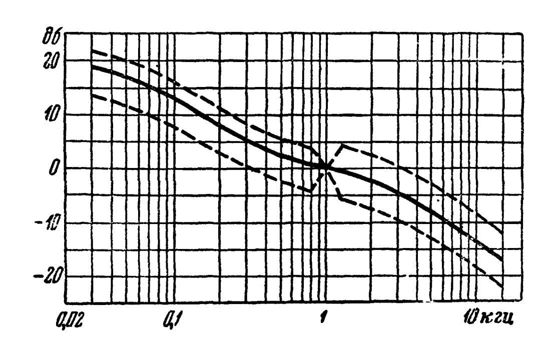


Рис. 8. Номинальная частотная характеристика канала воспроизведения.

Пунктиром указано поле допускаемых отклонений.

Рассогласование каналов по частотным характеристикам воспроизведения. Каждый канал стереофонического звукоснимателя имеет собственную частотную характеристику воспроизведения. Необходимость совпадения этих характеристик очевидна. На практике, однако, этого достигнуть трудно, и поэтому рассогласование каналов по ходу частотных характеристик служит существенным критерием качества стереофонического звукоснимателя. Это рассогласование, определяемое совмещением характеристик правого и левого каналов в точке, соответствующей частоте 1 000 *гц*, не должно превосходить по ГОСТ 8383-63 в диапазоне частот от 300 до 5 000 *гц* 2, 3 и 4 *дб* для первого, второго и третьего классов звукоснимателей соответственно.

Рабочий диапазон частот представляет собой участок частотной характеристики воспроизведения звукоснимателя, на котором отклонения от номинальной характеристики не превышают +3, —5 *дб* в диапазоне частот ниже 1 000 *гц* и ±5 *дб* на частотах выше 1 000 *гц* (рис. 8). Рабочий диапазон частот должен быть не уже, чем 30—15 000 *гц* для устройств первого класса, 50—12 000 *гц* для второго и 50—10 000 *гц* для третьего. У лучших моделей современных стереофонических звукоснимателей рабочий диапазон частот 20—20 000 *гц*.

Следует отметить, что игла звукоснимателя должна надежно огибать модулированную канавку на всех частотах колебаний, записанных на пластинке, независимо от рабочего диапазона частот звукоснимателя. В противном случае возникают искажения, прослушиваемые как хрипы. При этом резко возрастает износ пластинок и игл.

Разделение каналов. Звукосниматель должен раздельно воспроизводить информацию обоих стереофонических каналов. Однако вследствие невозможности создать идеальный разделяющий механизм всегда в той или иной степени происходит паразитное проникновение сигнала одного канала в другой. Это взаимное проникновение оценивается параметром, который называют разделением каналов и обозначают буквой N.

Значение N в децибелах вычисляют по формуле

$$N = 20 \lg \frac{U_1}{U_2},$$

где U_1 — напряжение на выходе рабочего канала;

U_2 — напряжение на выходе нерабочего (немого) канала.

Разделение каналов — важный фактор, определяющий стереофонический эффект передачи звука, и поэтому на улучшение этого параметра обращается особое внимание. Его величина обычно меняется с частотой, что может быть выражено соответствующим графиком.

Особенное значение имеет разделение каналов на частотах от 1 000 *гц* и выше. Поэтому чаще всего рассматривается именно этот участок рабочего диапазона. Стандартом предусмотрена норма не менее 20, 15 и 12 *дб* на частоте 1 000 *гц* и 12, 8 и 6 *дб* на частоте 5 000 *гц* для устройств первого, второго и третьего классов соответственно. Современные звукосниматели наиболее высокого качества имеют в указанной области частот разделение каналов до 25—30 *дб*.

Нагрузка на иглу. Звукосниматель опирается на пластинку иглой. Сила P (рис. 9), определяющая воздействие звукоснимателя на канавку в статическом режиме, называется нагрузкой на иглу и выражается в ньютонах (*н*) [1]. Эта сила определяется весом тонарма звукоснимателя с головкой, распределением массы по длине тонарма, а также уравновешивающей силой, создаваемой специальным устройством.

Правильное воспроизведение записи достигается только в том случае, когда конец иглы опирается на стенки канавки, не касаясь ее дна При этом давление на канавку определяется величиной составляющих P_1 и P_2 (рис. 9,*а*) силы P и площадью соприкосновения иглы со стенками. В связи с тем, что площадь эта мала, давление на канавку очень велико, что вызывает износ пластинки и иглы. Считается, что для допустимого износа максимальная нагрузка на иглу с радиусом закругления 12,5 и 25 *мк* не должна превышать 0,03 и 0,06 *н* (3 и 6 *г*) соответственно [Л. 2]. Однако произвольное уменьшение нагрузки на иглу недопустимо, так как тогда игла не будет огибать канавку, а при больших амплитудах записи и со-

---

[1] 1 *н* ≈ 100 *г*.

трясениях электропроигрывающего устройства будет даже выскакивать из нее.

При движении иглы по модулированной канавке, кроме силы P, необходимо учитывать также силу Q — реакцию иглы, направленную в сторону, противоположную смещению иглы.

На рис. 9,*б* сила Q направлена под углом 45° к горизонтали, что соответствует модуляции только левой стенки канавки. В этом

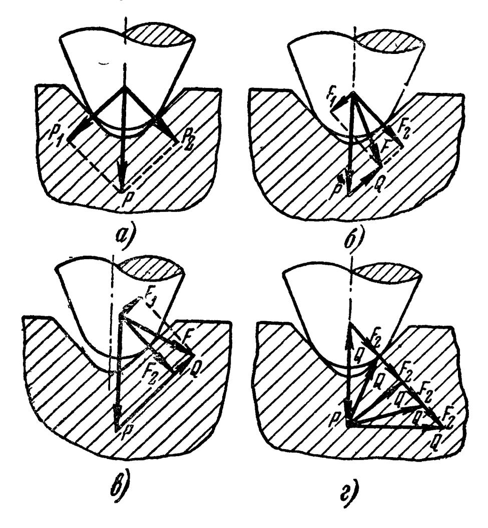


Рис. 9. Силы взаимодействия иглы и канавки.

$а - Q=0$; $б - Q<P/\sqrt{2}$; $в - Q>P/\sqrt{2}$; $г - F_1=0$.

случае игла прижимается к стенкам канавки составляющими F_1 и F_2 суммарной силы F. Если Q окажется больше $P/\sqrt{2}$, то сила F_1 будет стремиться поднять иглу по правой стенке канавки (рис. 9,*в*). В реальном случае при воспроизведении стереофонической записи смещение иглы может происходить в любом направлении и, следовательно, направление силы Q заранее не известно. Как следует из рис. 9,*г*, сила F_1 становится равной нулю при значениях силы Q от $P/\sqrt{2}$ до P в зависимости от направления, отсюда следует, что игла будет находиться в устойчивом состоянии в канавке при $P>\sqrt{2}\,Q$.

Сила, отклоняющая иглу, и соответственно сила реакции иглы Q пропорциональны колебательной скорости записи и механическому сопротивлению подвижной системы звукоснимателя. Максимальное значение колебательной скорости записи является заданной величиной. Таким образом, уменьшить силу, отклоняющую иглу, а следовательно, и нагрузку на иглу, можно только снижением механического сопротивления звукоснимателя.

Механическое сопротивление звукоснимателя зависит от частоты и обусловлено рядом факторов, а именно: податливостью (гибкостью) подвижной системы головки, инерционностью тонарма в горизонтальной и вертикальной плоскостях (на низких частотах), трением в горизонтальной и вертикальной осях вращения тонарма.

Податливостью или гибкостью подвижной системы называют величину, равную смещению системы, вызываемому единичной силой в направлении действия последней. Размерность податливости *м/н* *. Чем больше податливость системы, тем меньше ее механиче-

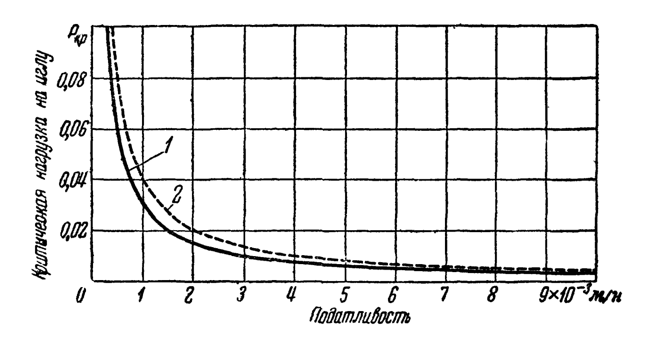


Рис. 10. Зависимость критической нагрузки на иглу от податливости подвижной системы звукоснимателя.
Амплитуда записи *1* — 30 *мк*; *2* — 40 *мк*.

ское сопротивление. Подвижная система стереофонической головки в отличие от монофонической должна иметь необходимую податливость как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях. Так как амплитуда вертикальной составляющей модуляции при стереофонической записи обычно не превышает 40% от амплитуды горизонтальной составляющей, вертикальная податливость подвижной системы может быть в 2 раза меньше горизонтальной [Л. 1].

Из изложенного ясно, что податливость подвижной системы головки, по существу, основной фактор, определяющий наименьшую допустимую величину нагрузки на иглу. На рис. 10 приведены кривые зависимости критической нагрузки на иглу от податливости для амплитуд записи 30 и 40 *мк* при скоростях вращения $33^1/_3$ и 78 *об/мин* соответственно. Под критической нагрузкой на иглу понимается минимальное значение нагрузки для неискаженного воспроизведения. Рекомендуемая нагрузка на иглу обычно превышает критическую примерно в 2 раза.

В последние годы вопросу увеличения податливости уделяется особое внимание. Податливость в хороших головках составляет $(4 \div 10)10^{-3}$ *м/н*, а рекомендуемая нагрузка на иглу 0,04—0,01 *н* (4—1 *г*). В лучших конструкциях головок магнитного типа податливость составляет $20 \cdot 10^{-3}$ *м/н*, что позволяет воспроизводить запись при нагрузке на иглу 0,05 *н* (0,5 *г*) и менее.

---

* 1 *м/н* ≈ 1 000 *см/дин*.

ГОСТ 8383-63 устанавливает следующие нормы нагрузки на иглу. для звукоснимателя, рассчитанного на воспроизведение только стереофонической записи, — не более 0,04 *н* (4 *г*) для всех классов;

для универсального звукоснимателя — не более 0,04 *н* (4 *г*) для первого класса и 0,07 *н* (7 *г*) для остальных классов.

Нелинейные искажения, вносимые звукоснимателем, обычно прослушиваются при воспроизведении как характерчые хрипящие призвуки и хорошо наблюдаются на экране электронного осциллографа при воспроизведении чистых тонов, записанных на измерительных пластинках. Отсутствие видимых искажений во всем рабочем диапазоне частот достаточно для хорошей оценки звукоснимателя в этом отношении.

Для количественной оценки нелинейных искажений звукоснимателя обычно применяют метод гармоник. В этом случае величину нелинейных искажений оценивают коэффициентом гармоник *K*, определяемым по формуле

$$K = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \ldots}}{U_1} 100\%,$$

где U_1 — напряжение основной частоты,

U_2, U_3,... — напряжения 2-й, 3-й и т. д. гармоник.

Практически оказывается достаточным ограничиться измерением 2-й и 3-й гармоник.

По действующему стандарту коэффициент гармоник не должен превышать 3, 4 и 5 % для звукоснимателей 1-го, 2-го и 3-го классов.

КОНСТРУКЦИЯ ЗВУКОСНИМАТЕЛЕЙ

Стереофонический звукосниматель, так же как и его предшественник — монофонический, состоит из двух основных узлов: головки и тонарма с поворотной ножкой и механизмом регулировки нагрузки на иглу.

Основная функция головки — преобразование механических колебаний иглы, движущейся по канавке грампластинки, в электрические колебания звуковой частоты.

Преимущественное распространение в настоящее время получили головки магнитной и пьезоэлектрической систем.

МАГНИТНЫЕ ГОЛОВКИ

Преобразователь магнитной стереофонической головки содержит общий магнит и две независимые магнитные цепи, соответствующие левому и правому каналам.

Подвижной элемент преобразователя связан с иглой, огибающей модулированную канавку. Колебания этого элемента вызывают в магнитных цепях изменения магнитного потока и появление в катушках левого и правого каналов э. д. с., пропорциональных колебательной скорости записи соответствующего канала. Таким образом, частотная характеристика воспроизведения магнитной головки принципиально имеет вид горизонтальной прямой.

В зависимости от того, какой из элементов магнитной цепи подвижен, различают следующие конструкции магнитных головок: с подвижным магнитом, с подвижным якорем, с подвижными катушками.

Головка с подвижным магнитом. В этой головке (рис. 11) игла приводит в движение маленький магнит, расположенный между полюсами сердечников, на которых укреплены катушки. Магнит изготавливают из материала, обладающего высокой коэрцитивной силой и сравнительно небольшой остаточной индукцией, например, из фер-

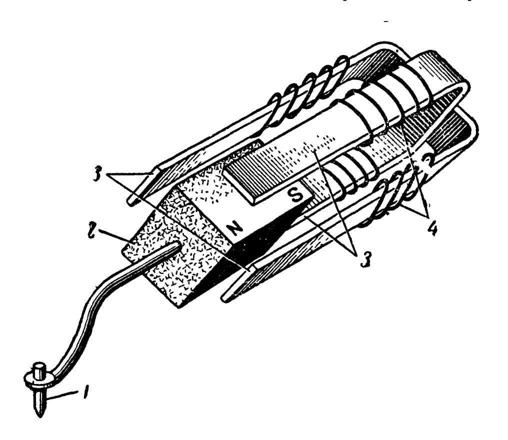


Рис. 11 Головка звукоснимателя с подвижным магнитом.

1 — игла; *2* — магнит; *3* — сердечники; *4* — катушки

рита бария. Кроме формы, показанной на рисунке, он может иметь также форму куба и шара. Конструкция с подвижным магнитом считается наиболее перспективной для магнитных головок. Головки этой конструкции обладают большим разделением каналов и высокой податливостью подвижной системы.

К недостаткам этой конструкции следует отнести то, что она требует исключительно высокой точности изготовления и имеет сравнительно небольшую механическую прочность. Кроме того, трудно получить одинаковую э. д. с. в обоих каналах во всем рабочем диапазоне частот.

Одна из лучших головок этой конструкции — головка ADC-1 фирмы «Одио Дайнамикс» (США) имеет следующие параметры: чувствительность 1,25 *мв/см/сек*; рабочий диапазон частот от 10 до 20 000 *гц* при неравномерности частотной характеристики ±2 *дб*; разделение каналов 33 *дб* на частоте 1 *кгц* и 29 *дб* на частоте 10 *кгц*; податливость (горизонтальная и вертикальная) $20 \cdot 10^{-3}$ *м/н*; рекомендуемая нагрузка на иглу 0,0075—0,015 *н* (0,75—1,5 *г*). Головка хорошо экранирована от воздействия внешних магнитных полей и имеет алмазную иглу и четыре выводных контакта (независимый выход каждого канала); вес головки 6,8 *г*.

Головка с подвижным якорем. В этой головке постоянный магнит с катушками, расположенными на полюсах наконечников, неподвижен, а игла соединена с подвижным ферромагнитным якорем. На рис. 12 показано устройство одной из таких головок «Стереодин II» (Дания), обладающей высокими показателями. Якорь, в форме креста, может поворачиваться относительно точки его соединения с осью иглодержателя.

При воспроизведении записи, например, правого канала будут изменяться зазоры магнитопроводов катушек *1* и *3*, что приведет к изменению магнитного потока в сердечниках этих катушек. Зазоры магнитопроводов катушек *2* и *4* останутся при этом без изменений. Колебания якоря вызывают увеличение магнитного потока в сердечнике одной катушки с одновременным уменьшением его в сердечнике другой. При включении катушек навстречу получают суммарную э. д. с. В результате достигается компенсация нелинейных искажений, возникающих из-за нелинейности изменения магнитного потока. Как видно из рисунка, магнитная система оказывается хорошо

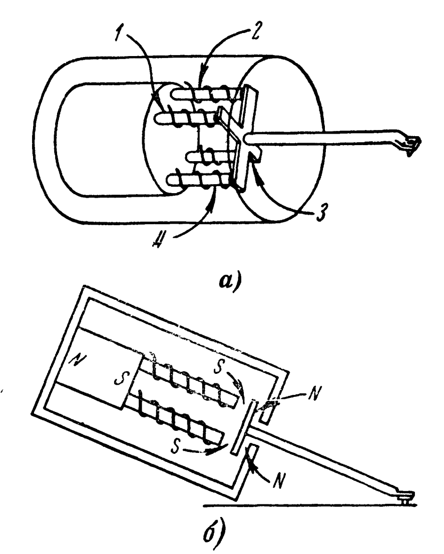


Рис. 12. Головка звукоснимателя с подвижным якорем.

а — схематическое устройство головки; *б* — магнитная цепь одного канала.

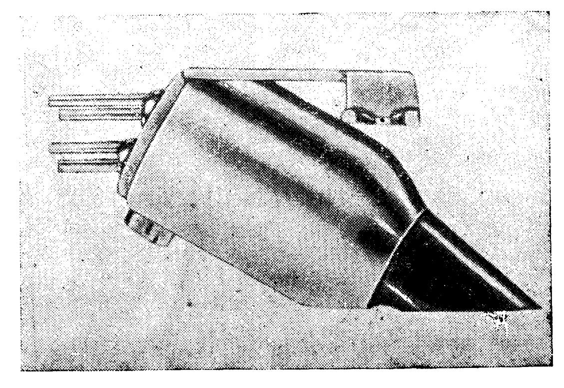


Рис. 13. Головка с подвижным якорем «Стереодин II».

экранированной, что сводит к минимуму влияние на звукосниматель внешних полей.

Общий вид головки показан на рис. 13 Головка имеет следующие параметры· чувствительность 1,5 *мв/см/сек*; рабочий диапазон частот от 30 до 15 000 *гц* при неравномерности частотной характеристики ±2 *дб*; разделение каналов 30 *дб* на частоте 1 *кгц* и 15 *дб* на частоте 10 *кгц*, податливость (горизонтальная и вертикальная) $7 \cdot 10^{-3}$ *м/н*; рекомендуемая нагрузка на иглу 0,01—0,015 *н* (1—1,5 *г*); вес головки 10 *г*. Головка имеет четыре выводных контакта и алмазную иглу.

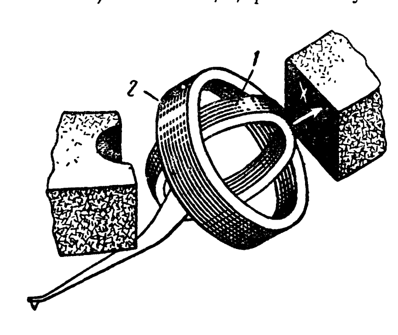


Рис. 14. Головка звукоснимателя с подвижными катушками.

1 — катушка правого канала; *2* — катушка левого канала.

Головка с подвижными катушками. Головки такой конструкции называют также динамическими. В отличие от рассмотренных, в этих головках катушки, жестко связанные с иглой, вращаются между полюсами постоянного магнита (рис. 14). Они расположены под углом 90° друг к другу и под углом 45° к поверхности пластинки. При воспроизведении записи, например, правого канала катушка *1*, вращаясь вокруг оси *X*, пересекает силовые линии магнитного поля, а катушка *2*, вращаясь вокруг той же оси, не взаимодействует с магнитным полем. В результате э. д. с. возникает только в катушке *1*.

Головки этой конструкции при прочих высоких показателях имеют весьма низкую чувствительность (около 0,5 *мв/см/сек*).

Динамическая головка SPU-T фирмы «Ортофон» (Дания) с встроенным повышающим трансформатором имеет следующие параметры: чувствительность 2,8 *мв/см/сек*, рабочий диапазон частот от 20 до 20 000 *гц* при неравномерности частотной характеристики ±2 *дб*; разделение каналов 25 *дб* на частоте 1 *кгц* и 20 *дб* на частоте 10 *кгц*; податливость (горизонтальная и вертикальная) $10 \cdot 10^{-3}$ *м/н*; рекомендуемая нагрузка на иглу 0,01—0,02 *н* (1—2 *г*); вес головки 17 *г*. Головка имеет четыре выводных контакта и алмазную иглу.

ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ГОЛОВКИ

Действие пьезоэлектрических головок основано на использовании прямого пьезоэффекта Это явление состоит в том, что при деформации некоторых кристаллов на их гранях возникают электрические заряды

Кристаллические вещества, в которых проявляется пьезоэффект, получили название пьезоэлектриков. Изготовленные из них пьезоэлементы применяют в звукоснимателях в качестве преобразователей. Выходное напряжение пьезоэлектрического звукоснимателя

определяется деформацией пьезоэлемента, пропорциональной смещению иглы. Это смещение равно амплитуде записи, которая при постоянстве колебательной скорости обратно пропорциональна частоте. Таким образом, идеальная частотная характеристика воспроизведения пьезоэлектрического звукоснимателя сравнительно мало отличается от номинальной частотной характеристики канала воспроизведения.

В зависимости от материала пьезоэлемента головки можно разделить на две группы: кристаллические и керамические.

В кристаллических головках применяют пьезоэлементы из водорастворимых кристаллов (сегнетова соль и дигидрофосфат аммония) отличающихся большим пьезоэлектрическим эффектом. Однако эти пьезоэлементы имеют ряд существенных недостатков. Сегнетова соль хрупка, гигроскопична, легко выветривается вследствие имеющейся в ней кристаллизационной воды; ее диэлектрические и пьезоэлектрические свойства сильно зависят от температуры.

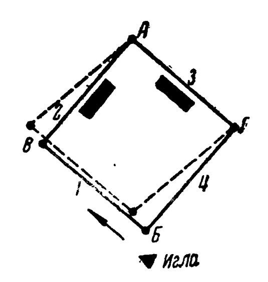


Рис. 15. Схема преобразователя двухбалочной головки.

Дигидрофосфат аммония, хотя и выдерживает более высокую температуру и не боится выветривания, так же недостаточно прочен и влагоустойчив. Кристаллические головки неперспективны, выпуск их ограничен, и поэтому нами они рассматриваться не будут.

Керамические головки свободны от перечисленных недостатков. Пьезоэлементы таких головок изготавливают из керамик различного состава, преимущественно из цирконата-титаната свинца. В процессе изготовления для получения требуемых пьезоэлектрических свойств керамические пьезоэлементы выдерживают в постоянном электрическом поле. Этот процесс называется поляризацией. Важные преимущества керамических головок — механическая прочность и стабильность параметров в широком интервале температур и при любой влажности — обусловили их быстрое распространение во всем мире.

Конструктивно преобразователь пьезоэлектрической стереофонической головки содержит два пьезоэлемента прямоугольной формы (двухбалочная система) либо один, имеющий вид полого цилиндра (трубки).

Двухбалочная пьезокерамическая головка. Схема преобразователя двухбалочной системы, получившей в настоящее время наибольшее распространение, показана на рис. 15. Преобразователь состоит из четырех жестких тяг, шарнирно связанных между собой, которые могут вращаться вокруг неподвижной оси *А*. Если к точке *Б* приложена сила, действующая в направлении стрелки, тяга *1* сместится параллельно самой себе и повернет тягу *2* вокруг оси *А*. Тяга *4* также сместится, а тяга *3* останется неподвижной (новое положение тяг показано пунктирными линиями).

Таким образом, модуляция канавки в правом канале будет смещать верхнюю левую тягу, оставляя неподвижной правую, а модуляция в левом канале вызовет смещение верхней правой тяги, оставив неподвижной левую. Располагая в соответствующих участках системы два пьезоэлемента (на рисунке они показаны уходящими

в глубь чертежа), получаем две механоэлектрические преобразующие системы с механическим разделением каналов.

В подобном преобразователе применяют два одинаковых биморфных пьезоэлемента последовательного соединения. Такой пьезоэлемент (рис. 16) состоит из двух керамических пластин, поверхности которых металлизированы. Пластины склеены друг с другом так, что при изгибе пьезоэлемента, когда одна из пластин работает на растяжение, а другая на сжатие, между поверхностями

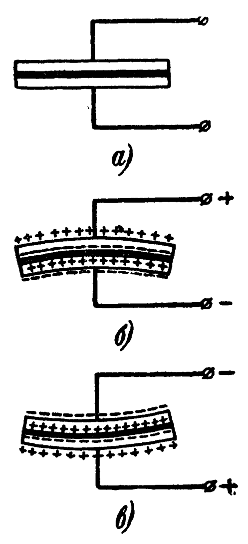


Рис. 16. Принцип действия биморфного пьезоэлемента.

а — пьезоэлемент в покое; *б* — изгиб пьезоэлемента в одну сторону; *в* — изгиб пьезоэлемента в другую сторону.

Рис. 17. Устройство пьезокерамической двухбалочной головки типа 9ТА.

1 — керамические пьезоэлементы; *2* — эластичные втулки; *3* — корпус; *4* — поводок—разделитель каналов; *5* — иглодержатель; *6* — втулка, *7* — демпфер

пьезоэлемента возникает суммарная разность потенциалов. Между пластинами находится тонкая металлическая прокладка, повышающая прочность пьезоэлемента.

На рис. 17 показано устройство пьезокерамической двухбалочной головки типа 9ТА фирмы «Сонотон» (США). Два миниатюрных керамических пьезоэлемента посредством эластичных втулок закреплены в корпусе из пластмассы под углом 90° друг к другу и 45° к плоскости пластинки. Концы пьезоэлементов заделаны в приливы V-образного поводка — разделителя каналов Иглодержатель представляет собой алюминиевую трубку, вмонтированную в эластичную втулку рамы переключателя игл. На свободном конце иглодержателя установлены две иглы, расположенные под углом 180° друг к другу, причем передняя игла имеет радиус закругления 17 *мк*, а другая 65 *мк*. Демпфирование подвижной системы осуществляется специальным демпфером, помещенным между пьезоэлементами, а также эластичными втулками и поводком. Переключатель с иглодержателем фиксируется в гнездах корпуса специальным прижимом и в случае износа игл может быть легко заменен. Головка защищена тонким штампованным металлическим экраном и имеет четыре выводных контакта.

Головка имеет следующие параметры: чувствительность 100 *мв/см/сек*; рабочий диапазон частот от 20 до 17 000 *гц* при неравномерности частотной характеристики ±3 *дб*; разделение каналов 25 *дб* на частоте 1 *кгц* и 6 *дб* на частоте 10 *кгц*; податливость (горизонтальная и вертикальная) $5{,}5 \cdot 10^{-3}$ *м/н*; рекомендуемая нагрузка на иглу 0,02—0,04 *н* (2—4 *г*), в зависимости от качества тонарма; алмазная игла для пластинок С и МУ и по выбору — алмазная или корундовая — для пластинок МШ.

Пьезокерамическая головка с трубчатым пьезоэлементом. Головки стереофонических звукоснимателей, выпускаемых в настоящее время нашей промышленностью, построены на трубчатом керами-

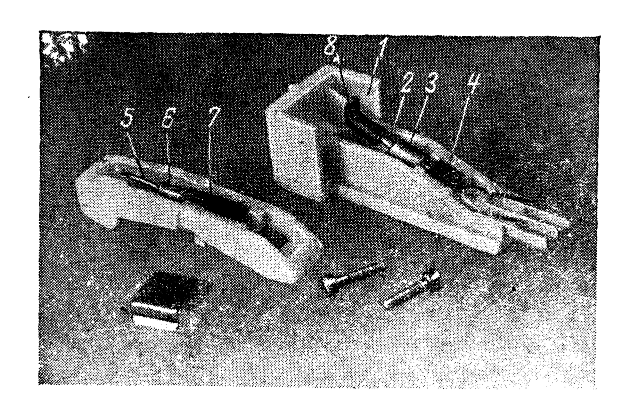


Рис. 18. Головка звукоснимателя ПС1С-4 с трубчатым керамическим пьезоэлементом.

ческом пьезоэлементе, обладающем тем преимуществом, что он объединяет в себе два автономных преобразователя, работающих аналогично бимфорным пьезоэлементам параллельного соединения.

На рис. 18 показана головка звукоснимателя отечественного производства ПС1С-4, примененного, в частности, в радиоле «Ригонда-Стерео».

Пластмассовый корпус головки *1* состоит из двух частей, соединенных винтами. В корпусе размещена преобразующая система головки, выполненная в виде двух блоков: преобразователя и иглодержателя. Блок преобразователя содержит трубчатый пьезоэлемент *2* с держателем *4* и демпфером *3*. Пьезоэлемент представляет собой трубку из пьезокерамики цирконата-титаната свинца длиной 15 *мм* и наружным диаметром 1,3 *мм* при толщине стенки 0,3 *мм*. Трубка имеет пять электродов: один внутренний, сплошной, и четыре наружных в виде продольных полос. Электроды пьезоэлемента, скоммутированные попарно, посредством пружинного контакта и перемычек соединены с выводными контактами. Держатель пьезоэлемента выполнен в виде втулки особой формы из эластичного материала. Демпфер, изготовленный из специального демпфирующего материала — оксилена, имеет форму усеченного конуса, охватываю-

щего пьезоэлемент в его средней части. Блок иглодержателя состоит из собственно иглодержателя 5 с запрессованной в него иглой демпфера 6 и манжеты 7. Иглодержатель представляет собой тонкостенную металлическую трубку, расплющенную на концах. В один из них запрессована игла, другой заделан в резиновую манжету. Иглодержатель также снабжен оксиленовым демпфером. Связь иглодержателя с преобразователем осуществляется посредством поводка 8. Верхняя часть поводка имеет круглое отверстие, куда вставляется свободный конец пьезоэлемента, нижняя часть выполнена в виде вилки, на которую опирается иглодержатель.

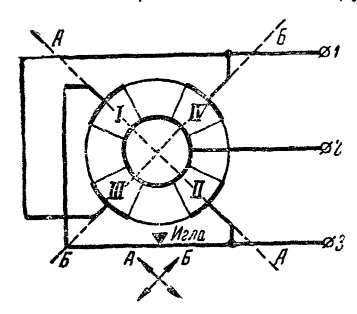


Рис. 19. Принцип действия преобразователя с трубчатым пьезоэлементом.

Принцип действия преобразователя поясняется на рис. 19. При воспроизведении записи, например, правого канала игла колеблется в плоскости, перпендикулярной правой стенке канавки. Колебания иглы и жестко связанного с ней иглодержателя через поводок воздействуют на свободный конец трубчатого пьезоэлемента. Под действием внешней силы (стрелка *А*) пьезоэлемент изгибается в плоскости *А-А*, совпадающей с направлением этой силы. При сжатии сектора *I* сектор *II* растягивается. В связи с тем что эти сектора предварительно поляризованы напряжением различного знака, на их наруж-

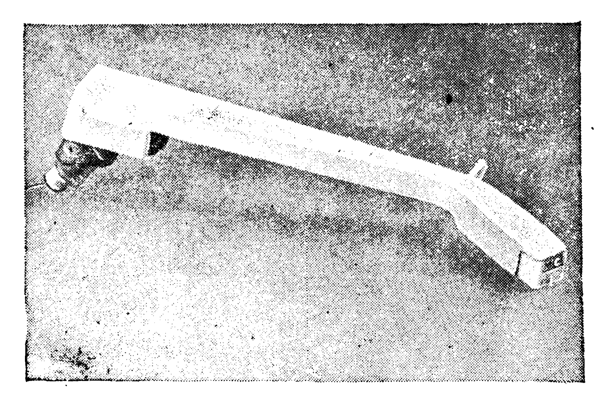


Рис. 20. Общий вид звукоснимателя ПС1С-4.

ных электродах, соединенных друг с другом, возникают одноименные заряды, которые обусловливают появление на выходе правого канала головки (контакты *2*, *3*) электродвижущей силы. В то же время э. д. с. на выходе левого канала головки (контакты *1*, *2*) рав-

на нулю, так как в данных условиях одна половина секторов *III* и *IV* сжимается, другая растягивается и на электродах каждого из них возникают заряды разных знаков, которые компенсируются. На практике в силу ряда причин эта компенсация оказывается неполной, что приводит к некоторому проникацию сигналов из одного канала в другой.

Аналогично при воспроизведении записи левого канала происходит изгиб пьезоэлемента в плоскости *Б-Б*, также совпадающей по направлению с приложенной силой (стрелка *Б*), и возникает э. д. с. на выходе левого канала головки.

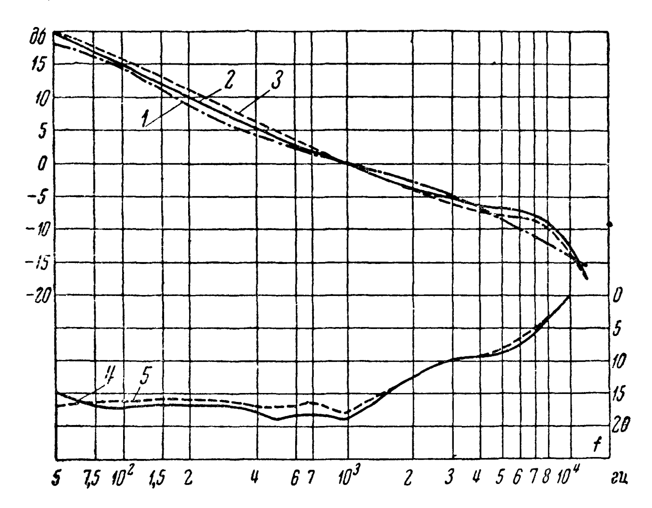


Рис. 21. Частотные характеристики воспроизведения и разделения каналов звукоснимателя ПС1С-4.

1 — номинальная характеристика канала воспроизведения; характеристики воспроизведения звукоснимателя *2* — левый канал, *3* — правый канал, характеристики разделения каналов *4* — левый канал рабочий, правый немой, *5* — правый канал рабочий, левый немой.

Общий вид звукоснимателя ПС1С-4 показан на рис. 20. Его параметры: чувствительность 100 *мв/см/сек* при рассогласовании каналов по чувствительности 1,5 *дб*; рабочий диапазон частот от 50 до 12 000 *гц* при неравномерности частотной характеристики ±3 *дб*; разделение каналов 18 *дб* на частоте 1 *кгц* и 7 *дб* на частоте 5 *кгц*; податливость $1{,}7 \cdot 10^{-3}$ *м/н*; рекомендуемая нагрузка на иглу 0,06 *н* (6 *г*); вес головки 4,5 *г*, головка имеет три выводных контакта.

Частотные характеристики воспроизведения и разделения каналов звукоснимателя ПС1С-4 приведены на рис. 21.

Сравнение двух основных систем головок Основные параметры лучших моделей стереофонических головок магнитной и пьезоэлектрической систем сведены для сравнения в табл. 4

Из таблицы видно, что головки обеих систем имеют широкий рабочий диапазон частот и хорошее разделение каналов.

Таблица 4

Параметры головок звукоснимателя

Система головки	Чувствительность, *мв/см/сек*	Рабочий диапазон частот, *гц*	Разделение каналов на частоте 1 *кгц, дб*	Податливость, *м/н*	Нагрузка на иглу, *н*	Сопротивление нагрузки
Магнитная	0,5—2	20—20 000	20—30	$(5-20)10^{-3}$	0,005—0,04	47 *ком*
Пьезоэлектрическая	50—100	20—20 000	20—30	$(3-6)10^{-3}$	0,02—0,04	1—2 *Мом*

Магнитные головки отличаются особенно высокой податливостью, что позволяет воспроизводить запись при весьма малых нагрузках на иглу, а также способностью работать на низкоомную нагрузку. К недостаткам магнитных головок следует отнести малую чувствительность и принципиальное отличие частотной характеристики воспроизведения от номинальной частотной характеристики канала воспроизведения, что вызывает необходимость применения повышающего трансформатора или дополнительного каскада усиления и корректирующего контура. Подверженность влиянию внешних магнитных полей заставляет тщательно экранировать эти головки экранами из ферромагнитных материалов.

Основные достоинства пьезокерамических головок — высокая чувствительность и близость частотной характеристики воспроизведения к номинальной частотной характеристике канала воспроизведения. Керамические головки позволяют получить наиболее простую, технологичную и во всех отношениях надежную конструкцию, не содержащую дефицитных и дорогих материалов.

В отличие от магнитных, пьезокерамические головки не требуют специальных повышающих трансформаторов, корректирующих контуров, сложных и тяжелых экранов. Эти головки отличаются малой массой: 3—5 *г* против 10—15 *г* у магнитных. Применение пьезокерамики позволяет получить стабильность параметров головки в любых атмосферных условиях. При всех указанных преимуществах керамические головки по своим параметрам вполне сравнимы с магнитными. Это, в частности, видно из того, что за рубежом эти головки со встроенными миниатюрными корректирующими контурами выпускаются для замены головок магнитного типа в действующих воспроизводящих установках. В то же время сопоставление цен показывает, что пьезокерамические головки в 2—3 раза дешевле магнитных.

К недостаткам пьезокерамических головок следует отнести более низкую податливость, а также необходимость высокого сопротивления нагрузки.

Что касается конструкции пьезокерамических головок, то необходимо отметить, что, несмотря на кажущуюся простоту головки

с трубчатым пьезоэлементом, оказывается трудным изготавливать такой элемент с необходимой точностью при массовом производстве, что приводит к разбросу параметров головок. Большие трудности возникают также в разделении каналов на высоких частотах.

Кроме того, головка с трубчатым пьезоэлементом обладает принципиально меньшей податливостью по сравнению с двухбалочной при прочих равных условиях.

Таким образом, представляется необходимым наряду с совершенствованием существующих головок с трубчатым пьезоэлементом разрабатывать двухбалочные головки, особенно для звукоснимателей высокого класса.

Следует отметить, что иностранные фирмы, выпускавшие стереофонические головки с одноэлементным преобразователем, отказались от применения подобных систем, и в настоящее время за рубежом все высококачественные пьезокерамические головки строятся с двухбалочным преобразователем.

ИГЛА

Как элемент, непосредственно соприкасающийся с поверхностью стенок канавки и передающий механическую энергию подвижной системе звукоснимателя, игла имеет весьма важное значение.

При воспроизведении записи игла должна опираться на стенки канавки, не касаясь ее дна (рис. 22,*а*). Игла с радиусом закругле-

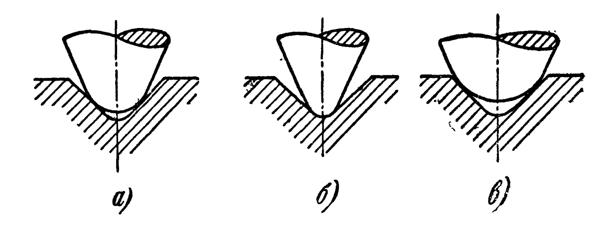


Рис. 22. Положение иглы в канавке.

а — игла с нормальным радиусом закругления; *б* — игла с малым радиусом закругления; *в* — игла с большим радиусом закругления.

ния, меньшим радиуса закругления дна канавки (рис. 22,*б*), будет скользить по дну, не огибая всех извилин модуляции, и воспроизведение будет искаженным. С другой стороны, чрезмерно большой радиус закругления иглы (рис. 22,*в*) вызовет неогибание канавки при воспроизведении записи высоких частот, что также приведет к искажениям и, кроме того, нарушит надежный контакт иглы с канавкой.

При воспроизведении стереофонической записи возникают нелинейные искажения, свойственные глубинной записи. Их ослабление может быть достигнуто при уменьшении уровня записи и радиуса закругления конца иглы. Однако в первом случае происходит сокращение динамического диапазона записи, поэтому целесообразнее применять иглы с малым радиусом закругления. При этом должна быть

снижена и допустимая нагрузка на иглу, так как вследствие уменьшения площади соприкосновения сферического конца иглы со стенками канавки давление на канавку возрастает, что приводит к повышенному износу пластинки.

В современных звукоснимателях применяются только корундовые и алмазные иглы, причем последние служат примерно в 10 раз дольше корундовых.

Форма и размеры алмазных и корундовых игл стандартизованы ГОСТ 7765-61 (рис. 23).

Иглы с номинальным радиусом закругления $R=15_{-3}$ *мк* предназначаются для воспроизведения только стереофонических пластинок

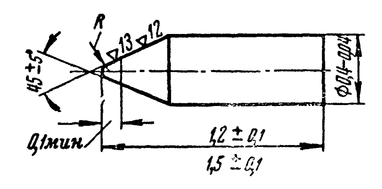


Рис. 23. Форма и размеры иглы.

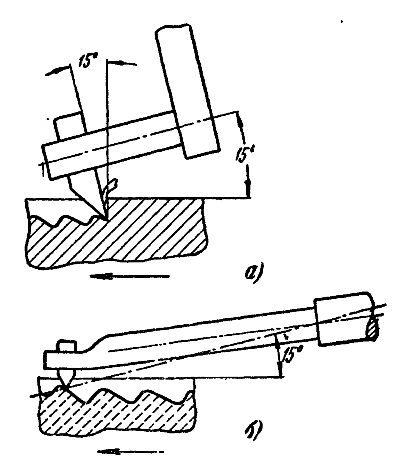


Рис. 24. Положение резца относительно тондиска (*а*); положение иглодержателя с иглой относительно пластинки (*б*). (Разрез дан вдоль канавки. Стрелкой показано направление вращения.)

при нагрузке на иглу не более 0,04 *н* (4 *г*); иглы с номинальным радиусом закругления $R=19_{-3}$ *мк* предназначаются для воспроизведения стереофонических и монофонических долгоиграющих пластинок при нагрузке на иглу не более 0,07 *н* (7 *г*); иглы с номинальным радиусом закругления 26_{-6} *мк* применяются только для монофонических долгоиграющих пластинок при нагрузке на иглу не более 0,12 *н* (12 *г*); иглы с номинальным радиусом закругления 70_{-15} *мк* предназначены для монофонических пластинок на скорость вращения 78 *об/мин*. Игла помещается на конце иглодержателя, выполненного в виде балки обычно круглого сечения (например, тонкостенной металлической трубки).

Резец стереофонического рекордера, устанавливаемый на конце резцедержателя, также имеющего вид балки, расположен под некоторым углом к вертикали навстречу вращению тондиска (рис. 24,*а*). Этот угол в настоящее время принят равным 15°. Чтобы избежать искажения при воспроизведении, необходимо иглодержатель с иглой расположить под тем же углом относительно пластинки (рис. 24,*б*). Этот угол для звукоснимателя определяется наклоном прямой, соединяющей центр вращения иглодержателя с концом иглы, к плоскости пластинки [Л. 3].

ТОНАРМ

Тонарм звукоснимателя имеет весьма важное значение. Он определяет правильное положение головки относительно канавки и перемещение ее по пластинке; от тонарма зависят частотная характеристика воспроизведения звукоснимателя в области низких частот и разделение каналов. Самая лучшая головка с плохим тонармом будет работать неудовлетворительно. Вот почему разработка звукоснимателя обычно включает в себя разработку и головки, и тонарма.

Требования, предъявляемые к тонармам современных стереофонических звукоснимателей, заключаются в соответствующем расположении низкочастотного резонанса системы и его демпфировании, отсутствии торсионного резонанса, минимальных угловых искажениях, минимальном трении в подшипниках осей вращения, балансировке в горизонтальной и вертикальной плоскостях при минимальной инерционности и, наконец, в компенсации бокового усилия.

Низкочастотный резонанс звукоснимателя, который обычно стремятся сместить за пределы звукового диапазона, определяется эффективной массой тонарма и головки и податливостью подвижной системы головки. Демпфирование этого резонанса может осуществляться различными способами, например смазкой узла поворота тонарма вязкой жидкостью, или введением трения между тонармом и противовесом (связь через специальную эластичную муфту), или мягкой подвеской головки в тонарме.

Так как нижняя граница рабочего диапазона частот грамзаписи равна 30 *гц*, то целесообразно конструировать звукосниматели с низкочастотным резонансом около 30 *гц* с крутым завалом частотной характеристики ниже этой частоты [Л. 4]. Очевидно, что эффективная масса тонарма и головки будет в этом случае значительно ниже, чем при резонансе, находящемся за пределами звукового диапазона, т. е. в области 10—15 *гц*. В результате будет снижена инерционность звукоснимателя и сэкономлен материал. Кроме того, будут меньше прослушиваться вибрации от механизма проигрывателя. Стремление к увеличению податливости подвижной системы во вновь разрабатываемых головках позволяет еще больше снижать массу тонарма. Поскольку на резонансной частоте резко возрастает механическое сопротивление звукоснимателя, необходимо механическое демпфирование тонарма, которое, кстати, всегда легче выполнить на более высоких частотах. Дополнительное снижение уровня помех от вибраций механизма может быть достигнуто смещением резонанса тонарма в вертикальной плоскости в сторону более высоких частот путем некоторого перемещения горизонтальной оси вращения в сторону головки.

Отсутствие торсионного резонанса, связанного со скручиванием тонарма вокруг своей продольной оси, обеспечивается жесткой конструкцией тонарма (П-образная балка переменного сечения или трубка).

Уменьшение угловых искажений достигается соответствующим выбором угла коррекции. Этот вопрос подробно рассматривается ниже.

Постоянное стремление к уменьшению нагрузки на иглу требует снижения трения в подшипниках горизонтальной и вертикальной осей вращения тонарма и особо гибких выводных проводов.

Трение в осях тонарма сводится к минимуму применения конусных, ножевых или прецизионных шариковых подшипников, а также подвеской тонарма на игле.

С другой стороны, при малых нагрузках на иглу становятся заметными паразитные силы, возникающие при не строго горизонтальном положении проигрывателя, воспроизведении покоробленных пластинок и так называемом боковом усилии. Эти силы ведут к неравномерному и повышенному износу пластинок и игл и возникновению искажений при высоких уровнях записи. Отсюда желательность балансировки звукоснимателя относительно осей вращения в вертикальной и горизонтальной плоскостях и компенсации бокового усилия.

В зарубежной практике наиболее часто применяется балансировка противовесом. При этом эффективная масса тонарма возрастает по меньшей мере в 2 раза, низкочастотный резонанс располагается в области 10—15 *гц*, а инерционность системы оказывается большой, что снижает устойчивость звукоснимателя на пластинке при толчках и вибрациях. Необходимая нагрузка на иглу достигается либо некоторой разбалансировкой тонарма в вертикальной плоскости, либо применением специальной пружины, прижимающей звукосниматель к пластинке.

Представляется, однако, более простым предпочесть балансировке противовесом установку горизонтальной панели проигрывателя по встроенному пузырьковому уровню и регулировку нагрузки на иглу с помощью отжимной пружины. В этом случае соответствующей конструкцией должно быть достигнуто минимальное изменение нагрузки на иглу при смещении тонарма в вертикальной плоскости.

Компенсация бокового усилия обычно достигается пружиной или системой пружин, встраиваемых в поворотную ножку тонарма. Однако, как будет показано ниже, величина бокового усилия составляет менее 6% от нагрузки на иглу, и поэтому компенсация его может оказаться необходимой лишь в установках высшего класса.

В качестве материала для современных тонармов широко применяются легкие алюминиевые сплавы. Применением металла достигаются необходимая жесткость тонарма и хорошая экранировка головки. Металлический тонарм позволяет применять легкие и гибкие неэкранированные выводные провода. Кроме того, возможность нарушения формы тонарма после его изготовления или со временем сводится к минимуму, что для стереофонического звукоснимателя имеет особенное значение.

Стремление удовлетворить перечисленные требования привело за рубежом к разработке тонармов, сложных по конструкции и выполненных с весьма высокой точностью.

Так, например, тонарм английской фирмы SME (рис. 25) имеет трубчатую конструкцию (трубка из нержавеющей стали) с балансировкой противовесами. Для подавления резонансов применена гибкая связь посредством резиновой муфты между трубкой тонарма и противовесом, а сама трубка заполнена древесной массой. Кассета тонарма, в которую устанавливается головка звукоснимателя — съемная и фиксируется на трубке затяжным кольцом. Поворот горизонтальной оси осуществляется на ножевых подшипниках, а вертикальной — на прецизионных шарикоподшипниках. Предусмотрена также компенсация бокового усилия специальным грузиком. В пово-

ротную ножку тонарма встроен так называемый микролифт — устройство для плавной установки звукоснимателя на пластинку и подъема его. Предусмотрена также возможность регулировки тонарма по высоте и точной установки его относительно центра вращения пластинки. Разъем с выводными проводами экранируется специальным кожухом. Как видно, тонарм имеет очень сложную конструкцию. Стоимость его также очень высока.

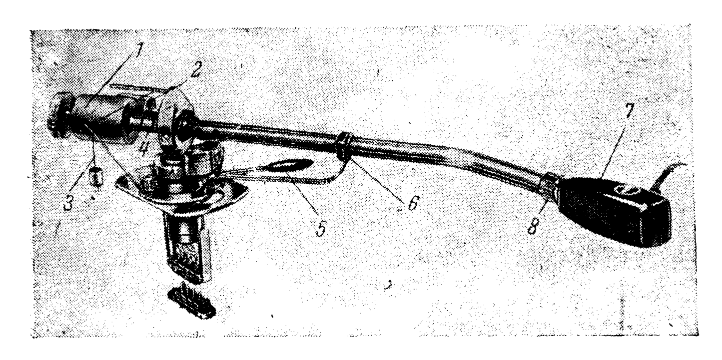


Рис. 25. Тонарм фирмы SME.

1 — балансирующий противовес; *2* — противовес для регулировки нагрузки на иглу; *3* — противовес для компенсации бокового усилия; *4* — демпфирующая муфта; *5* — ручка гидравлического микролифта; *6* — опора; *7* — съемная кассета; *8* — затяжное кольцо (кожух, экранирующий разъем, не показан).

Представляется возможным разрабатывать более простые конструкции тонармов, способных, однако, удовлетворять основным требованиям техники воспроизведения стереозаписей. При этом можно считать целесообразным:

1) применение призматических или конусных подшипников в осях вращения;

2) применение пружинной регулировки нагрузки на иглу (без противовеса) с минимальным изменением ее величины при смещении тонарма в вертикальной плоскости;

3) расположение низкочастотного резонанса, связанного с колебаниями в горизонтальной плоскости, близ нижней границы рабочего диапазона частот при некотором смещении «вертикального резонанса» в сторону высоких частот с обязательным демпфированием обоих резонансов;

4) изготовление металлических тонармов из легких сплавов.

РАСЧЕТ УГЛА КОРРЕКЦИИ ТОНАРМА[1]

Пишущий резец при записи на диск всегда перемещается по радиусу последнего (ось X на рис. 26), звукосниматель же перемещается по дуге окружности (касательная к которой — ось X'). Поэтому

[1] Этот раздел написан совместно с Т. Н. Верниковской.

звукосниматель, вообще говоря, не может точно воспроизвести модуляцию канавки, так как вертикальная плоскость симметрии головки (ось Z'), проведенная через конец иглы, не может быть касательной к канавке при любом значении радиуса записи. В общем

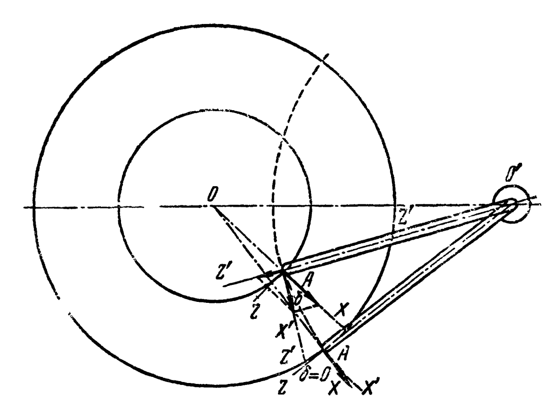


Рис. 26. Возникновение угловой погрешности.

XZ — система координат канавки записи в горизонтальной плоскости, $X'Z'$ — система координат головки звукоснимателя в той же плоскости.

случае эта ось Z' оказывается повернутой относительно касательной к канавке (оси Z) на некоторый угол δ.

Поперечная модуляция канавки — вектор A вызывает в этом случае полезное смещение иглы по оси X', равное $A\cos\delta$, и паразитное продольное перемещение иглы «вперед — назад» по оси Z',

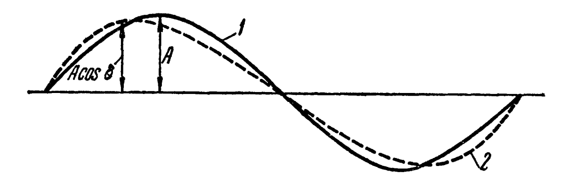


Рис. 27. Нелинейные искажения при угловой погрешности.

1 — синусоидальная кривая, записанная на пластинке с амплитудой A; *2* — кривая, воспроизведенная звукоснимателем.

вследствие чего возникает искажение воспроизводимого колебания, показанное на рис. 27. Это искажение при воспроизведении приводит к возникновению второй гармоники.

При применении прямого тонарма вертикальная плоскость симметрии головки, проведенная через конец иглы, может совпадать с касательной к звуковой канавке только в одной какой-либо точке диска (рис. 28). Оказывается, однако, что положение прямого тонар-

ма относительно каких-либо двух произвольно взятых радиусов записи может быть выбрано так, что углы погрешности в обоих случаях будут одинаковы. Тогда смещение головки звукоснимателя относительно тонарма на этот угол сведет погрешность в двух данных

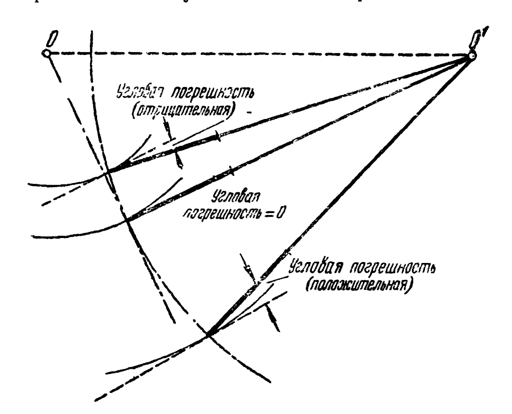


Рис. 28. Угловая погрешность при прямом тонарме.

точках к нулю. В результате наибольшая величина угловой погрешности может быть значительно уменьшена.

Рассматривая для этого случая два косоугольных треугольника $OO'A$ и $OO'B$ (рис. 29), можем написать·

$$d^2 = r_м^2 + l^2 - 2lr_м \cos \alpha_0, \qquad (1)$$

$$d^2 = r_б^2 + l^2 - 2lr_б \cos \alpha_0, \qquad (2)$$

где $d = OO'$ — расстояние между центром вращения пластинки и вертикальной осью тонарма (установочная база);
$l = AO' = BO'$ — расстояние от вертикальной оси тонарма до конца иглы (рабочая длина);
$r_м = AO$ — меньший радиус;
$r_б = BO$ — больший радиус.

$$\alpha_0 = \angle O'AO = \angle O'BO.$$

Решаем уравнения (1) и (2) для $\cos \alpha_0$:

$$\cos \alpha_0 = \frac{r_м^2 + l^2 - d^2}{2lr_м}, \qquad (3)$$

$$\cos \alpha_0 = \frac{r_б^2 + l^2 - d^2}{2lr_б}. \qquad (4)$$

Угол коррекции β (он же угол смещения головки), как показано на рис. 29, дополняет угол α_0 до 90°. Таким образом,

$$\beta = 90° - \alpha_0. \quad (5)$$

В этом случае угол погрешности γ равен нулю. Угол β, на который смещена головка относительно тонарма, — величина постоянная. Угол α — величина переменная и зависит от радиуса записи r.

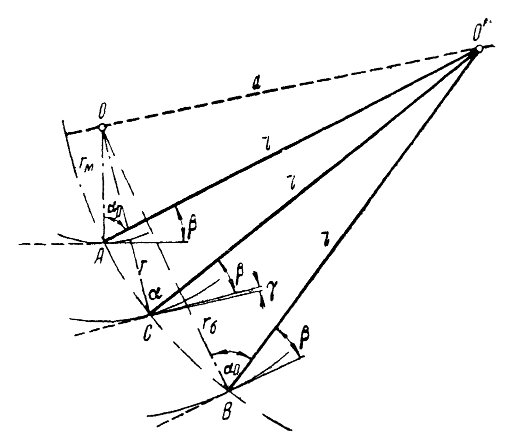


Рис. 29. К расчету угла коррекции.

Очевидно, во всех случаях, когда угол погрешности не равен нулю, значение угла α будет больше или меньше α_0 на величину угла погрешности γ. Другими словами, алгебраическая сумма углов α, β и γ равна 90°.

Таким образом,

$$\gamma = 90° - (\alpha + \beta). \quad (6)$$

Приравнивая уравнения (3) и (4) и решая их для l, получаем:

$$l = \sqrt{d^2 + r_м r_б}. \quad (7)$$

Как видно из уравнения (7), l всегда больше d, т. е. в звукоснимателе со смещенной головкой игла будет вынесена за центр вращения пластинки.

Так как расстояние d определяется из конструктивных соображений, а радиусы $r_м$ и $r_б$ — из наименьшего значения второй гармоники, то при расчете угла коррекции целесообразно задаться этими величинами.

Расстояние d может быть выбрано любым, но не меньше некоторой величины, позволяющей еще сохранить удобство смены пластинки наибольшего формата (максимальный диаметр 303 *мм*). Это наименьшее расстояние для нормального тонарма было определено равным 175 *мм*, хорошо подтверждено практикой и в настоящее время стандартизовано.

Величины радиусов, на которых угловая погрешность принимается равной нулю, могут быть выбраны, исходя из следующих соображений.

При двух нулевых точках существуют три максимальных значения угловой погрешности (по абсолютной величине) — в начале и конце записи и между нулевыми точками. Максимальным значениям угловой погрешности соответствуют максимальные значения величины второй гармоники. Очевидно, нулевые точки должны быть выбраны так, чтобы величина второй гармоники в упомянутых трех точках была одинаковой.

При расчете учитывалось, что величины l и β имеют практическое значение, а $r_м$ и $r_б$—чисто расчетное. Поэтому значения l и β округлены (в допустимых пределах), а значения радиусов получились дробные.

Оптимальным для $d=175$ *мм* будет соответствие нулевых точек радиусам:

$$r_м = 61{,}5 \text{ мм},$$

$$r_б = 117{,}1 \text{ мм}.$$

При этом расстояние от вертикальной оси вращения тонарма до конца иглы $l=194{,}5$ *мм* и угол коррекции $\beta=27°20'$.

Величина второй гармоники в процентах рассчитывается по формуле [Л. 5]:

$$K_2 = \frac{\omega A \gamma}{\omega_r r} 100\%, \qquad (8)$$

где $\omega=2\pi f$ — угловая частота (f — частота, *гц*);
A — амплитуда записи, *см*;
$\omega_r=360\, n$ — угловая скорость вращения (n — число оборотов в секунду);
γ — угловая погрешность, *град*;
r — радиус канавки записи, *см*.

Расчет был проведен для амплитуды записи 20 *мк* и частоты 1 000 *гц*. Данные условия соответствуют амплитуде колебательной скорости записи 12,5 *см/сек*, что несколько превышает максимально допустимые значения по ГОСТ 7893-61 — 10 *см/сек* (для скорости вращения $33^1/_3$ *об/мин*) и 12 *см/сек* (для 45 *об/мин*).

Расчетные формулы, полученные из выражения (8), имеют вид:

для скорости вращения $33^1/_3$ *об/мин* $K_2 = 6{,}3 \frac{\gamma}{r} \%$;

для скорости вращения 45 *об/мин* $K_2 = 4{,}65 \frac{\gamma}{r} \%$.

Данные расчета показывают, что величина угловой погрешности не превышает 2°40', а второй гармоники 1,2% (для скорости $33^1/_3$ *об/мин*). Изменение величины второй гармоники с изменением радиуса канавки проигрываемой пластинки показано на рис. 30.

Как можно видеть, значение $r_м$ в данном случае выбрано так, чтобы величина второй гармоники при наименьшем радиусе канавки пластинок на 45 *об/мин* (54 *мм*) была примерно равна ее максимальной величине для пластинок на $33^1/_3$ *об/мин*.

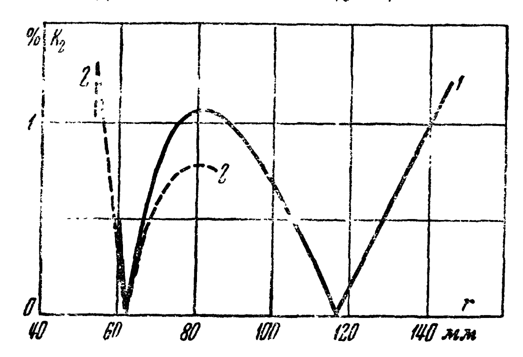


Рис. 30. График зависимости второй гармоники от радиуса записи для нормального тонарма.

1 — для скорости $33^1/_3$ *об/мин*, *2* — для скорости 45 *об/мин*

Чтобы выдержать на практике все расчетные данные, установка тонарма на плате проигрывателя относительно оси вращения пластинки должна быть выполнена с большой точностью.

На рис. 31 показана зависимость величины второй гармоники от установки тонарма в пределах допуска ±0,5 *мм*. Очевидно, что такой допуск следует считать предельным и по возможности он должен быть уменьшен.

Из кривых на рис. 32 видно, что увеличение длины тонарма заметного выигрыша по нелинейным искажениям не дает.

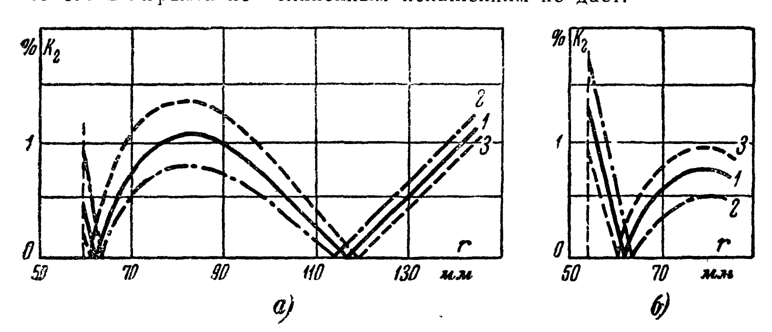


Рис. 31. Влияние на величину второй гармоники ошибки в установке нормального тонарма в пределах ±0,5 *мм*.

а — для скорости $33^1/_3$ *об/мин*; *б* — для скорости 45 *об/мин* (*1* — d=175 *мм*, *2* — d=174,5 *мм*, *3* — d=175,5 *мм*).

Для малогабаритных проигрывателей, рассчитанных для пластинок форматом не более 175 *мм* (на $33^1/_3$ и 45 *об/мин*), может применяться короткий тонарм, имеющий следующие данные: $d=115$ *мм*, $l=132{,}5$ *мм*, $\beta=30°10'$.

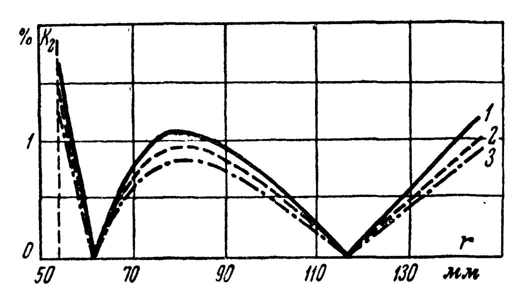


Рис. 32. Графики изменения второй гармоники при больших длинах тонарма (для скорости $33^1/_3$ *об/мин*).

1 — $l=194{,}5$ *мм*, $d=175$ *мм*, $\beta=27°20'$; *2* — $l=217{,}5$ *мм*, $d=200$ *мм*, $\beta=24°20'$; *3* — $l=236$ *мм*; $d=220$ *мм*; $\beta=22°20'$.

Расчет показывает, что в этом случае величина угловой погрешности не превышает 30', а второй гармоники 0,38% (для скорости $33^1/_3$ *об/мин*).

Нулевые точки соответствуют радиусам $r_м=56{,}5$ *мм*, $r_б=76{,}7$ *мм*.

Графики второй гармоники для такого тонарма приведены на рис. 33. Как показывают расчеты, допуск на установочный размер для короткого тонарма не должен превышать ±0,2 *мм*.

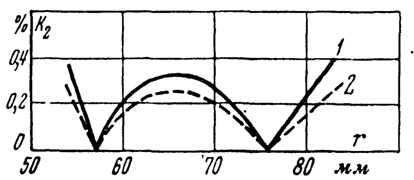


Рис. 33. Графики второй гармоники для короткого тонарма.

1 — для скорости $33^1/_3$ *об/мин*; *2* — для скорости 45 *об/мин*.

Боковое усилие на иглу. Вынос иглы за центр вращения пластинки, всегда имеющий место в тонармах со смещенной головкой, создает боковое усилие на иглу, направленное к центру пластинки. Боковое усилие вызывает повышенный износ одной стороны канавки и может даже оказаться причиной неустойчивой работы звукоснимателя. На рис. 34 показаны силы, действующие при этом на иглу. Как видно, сила трения $F_т$, направленная по касательной к канавке, и равнодействующая двух сил (противодействующей и боковой) $F_р$, направленная к вертикальной оси вращения тонарма, всегда будут образовывать тупой угол, обращенный вершиной к краю пластинки.

Из прямоугольного треугольника *ABC* следует, что боковое усилие

$$F_б=F_т \operatorname{tg} \delta,$$

Очевидно, угол δ равен алгебраической сумме углов коррекции и погрешности, т. е.

$$\delta = \beta + \gamma.$$

Сила трения $F_т$ пропорциональна нагрузке на иглу P и коэффициенту трения $K_т$:

$$F_т = K_т P.$$

При определении коэффициента трения средняя его величина из серии замеров для пары винилит-корунд была найдена равной 0,1

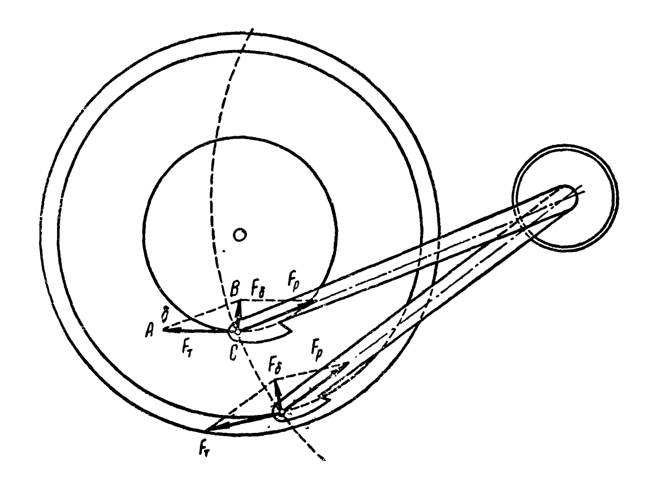


Рис. 34. Силы, действующие на иглу при выносе ее за центр вращения пластинки.

(при предельных значениях 0,09 и 0,12). Так как коэффициент трения величина постоянная, то

$$F_б = 0{,}1\ P\ \mathrm{tg}\,\delta.$$

Поскольку нагрузка на иглу для данного звукоснимателя задана, боковое усилие будет зависеть от величины угла δ. При этом максимальное боковое усилие будет там, где значение δ наибольшее, т. е. при наибольшем положительном угле погрешности γ. Графики угловой погрешности для рассмотренных тонармов приведены на рис. 35.

Поскольку для нормального тонарма максимальное положительное значение $\gamma' = 2°40'$ (на краю пластинки), а максимальное отрицательное $\gamma'' = -1°25'$ (между нулевыми точками), имеем:

$$\delta'_н = 27°20' + 2°40' = 30°,$$

$$\delta''_н = 27°20' - 1°25' = 25°55'.$$

Для короткого тонарма $\gamma' = 30'$ и $\gamma'' = -21'$, имеем:

$$\delta'_к = 30°10' + 30' = 30°40',$$

$$\delta''_к = 30°10' - 21' = 29°49'.$$

Таким образом, боковое усилие составляет:

а) для нормального тонарма

$F'_б = 0{,}058\,P$, $F''_б = 0{,}049\,P$;

б) для короткого тонарма

$F'_б = 0{,}059\,P$, $F''_б = 0{,}057\,P$,

т. е. не более 5,8% от нагрузки на иглу для нормального тонарма и 5,9% для короткого. Можно, таким образом, считать, что для звукоснимателя обычного типа боковое усилие не опасно.

Аналогичный расчет угла коррекции был выполнен для удлиненного тонарма, рассчитанного на применение в автоматических и крупногабаритных устройствах.

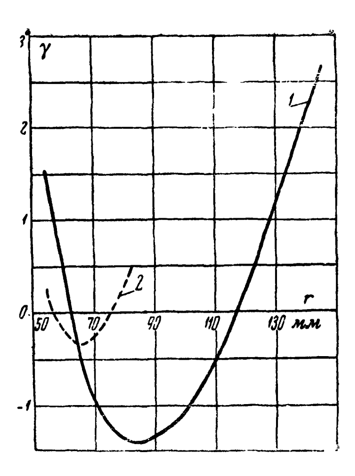


Рис. 35. Графики угловой погрешности нормального тонарма (*1*) и короткого тонарма (*2*).

Технические данные всех тонармов приведены в табл. 5. Указанные значения установочной базы, рабочей длины и угла коррекции стандартизованы ГОСТ 8383-63.

Таблица 5

Данные тонармов

Технические данные	Тонарм		
	короткий	**нормальный**	**удлиненный**
Установочная база *d*, *мм*	115±0,2	175±0,5	215±0,5
Рабочая длина *l*, *мм*	132,5	194,5	231,25
Угол коррекции β, *град*	30°10′	27°20′	22°40′
Максимальная угловая погрешность γ, *град*	30′	2°40′	58′
Максимальное значение второй гармоники, %	0,38	1,2	0,7
Боковое усилие на иглу, % от нагрузки на иглу	5,9	5,8	4,0

ЛИТЕРАТУРА

1. Р. Лафори, «Стереофонические пластинки», L'onde electrique, 1962, март. т. XLII № 420, стр. 241—256.

2. Дж. Уолтон, «Износ граммофонной записи», Wireless World, 1961, июль, т. 67, № 7, стр. 353—357

3. Е. Р. Мадсен, «Вертикальный угол погрешности — источник интермодуляционных искажений», Audio, 1962, ноябрь, т. 46, № 11, стр. 21—24, 88—89.

4. Дж. Уолтон, «Вибрации проигрывателя и конструирование тонарма», Wireless World, 1962, сентябрь, т. 68, № 9, стр. 435—437.

5. Б. Б. Бауэр. «Угловая погрешность граммофонного звукоснимателя», Electronics, 1945, март, стр. 110—115.

ГОСУДАРСТВЕННЫЕ СТАНДАРТЫ

ГОСТ 5289-61. «Пластинки граммофонные».

ГОСТ 7765-61. «Иглы для звукоснимателей алмазные и корундовые».

ГОСТ 7893-61. «Звукозапись механическая на диск».

ГОСТ 8383-63. «Устройства электропроигрывающие».

СОДЕРЖАНИЕ

Цена 10 коп.